

温排熱や未利用エネルギーを活用する 熱回収型ヒートポンプ熱源機

Heat Recovery Type Heat Pump Modules Using Low-Temperature Waste Heat and Unused Energy

松下 馨 森田 健 松本 雄紀

■ MATSUSHITA Kaoru ■ MORITA Takeru ■ MATSUMOTO Yuki

二酸化炭素 (CO₂) の排出量削減を目的に、これまでの燃焼式熱源機から熱源を転換し、電気が動力のヒートポンプ技術を用いた熱回収ヒートポンプ“熱回収CAONS”を開発した。インバータ駆動ツインロータリコンプレッサ及びR134a冷媒を採用し、これまで廃棄していた熱などを熱源として利用することで最高85℃の温水取出しが可能で、燃焼式熱源機に比べCO₂排出量とランニングコストが削減できる。また、モジュール連結設計とすることで、一体型の熱源機に比べリスク分散をしながら最適な容量選定ができ、負荷増加時の熱源機増設にも容易に対応できる。更に空調用として、地下水などを利用し、温水と冷水とを切り替えて取り出せる熱回収ヒートポンプ“熱回収SFMC”を開発した。

Toshiba Carrier Corporation has developed two types of heat recovery type heat pump modules as replacements for conventional combustion type heat source equipment, with the aim of reducing carbon dioxide (CO₂) emissions. These two modules, developed using our advanced heat pump technologies, utilize electricity as a power source.

The "Heat Recovery CAONS," a new model of heat recovery type heat pump module that features twin-rotary inverter compressors in the refrigeration cycle and employs R134a refrigerant, produces hot water with a maximum temperature of 85℃ using waste heat, etc. as a heat source. This reduces not only CO₂ emissions but also costs compared with combustion type heat source equipment. The connectable module design makes it possible to select the optimal capacity taking risk distribution into consideration more easily than in the case of integrated type products, and to add modules when the load increases. The other newly developed module, the "Heat Recovery SFMC," is a heat recovery type heat pump module mainly for air-conditioning systems. This module makes it possible to supply hot or chilled water using the heat of underground water by switching the refrigerant flow.

1 まえがき

近年、ヒートポンプはその効率の高さから省エネ及びCO₂排出量削減の切り札として、空調、冷凍、及び給湯の各分野だけでなく、産業用熱源分野においても徐々に普及しつつある。また、エネルギーの有効利用の観点から、工場などの温排熱を回収し再利用する事例が増えている。

ここでは、55～85℃の高温水を供給できる熱回収型ヒートポンプ“熱回収CAONS”と、冷水取出しと温水取出しの切替えが可能な“熱回収SFMC”の概要とともに、導入事例による省エネ効果などについて述べる。

2 背景

工場からは非常に多くの熱が廃棄されていることが知られている。これら廃棄する熱エネルギーには、目的のために投入された費用の一部が含まれており、熱エネルギーを廃棄することは、その費用も廃棄していることと同等である。廃棄する蒸気や水のうち、比較的高い温度の温排熱はそのまま他の負荷の熱源として再利用されることもあるが、機械の冷却水や蒸気のドレン水のような、排熱の再利用が難しい低温の排水も

多量にある。また、下水や河川への放水などにも廃棄される熱が含まれている。一方、地中熱や低温の温泉水のような未利用熱も大きな熱量として存在している。これらの熱エネルギーを回収して高温水を供給する熱回収ヒートポンプのニーズがあり、今後伸長していくことが予想される。これまでの製品は、能力が大きすぎてシステムの利用水側と熱源水側の熱収支バランスを安定させにくいことや、設置面積当たりの能力が小さく設置場所の確保が難しいことなどにより、普及に至っていない。したがって、これらの課題を克服した熱回収ヒートポンプが必要とされている。

3 市場のニーズ

ヒートポンプ技術を使用した一般的な機器では、温水出口温度の最高値は65～90℃であり、産業用では最高値が高く、業務用では最高値が低い傾向にある。一方、熱源水入口での水温の最高値は30～50℃と幅広く、最低値は13℃前後である。これは、機械排熱や地下水を想定しているためと思われる。これらを参考にして、熱回収CAONSでは、温水出口温度の最高値を50～85℃とし、熱源水温度は最低出口温度が9℃で最高出口温度を35℃とした。熱回収SFMCでは、空

調用途での使用を想定し、冷水取出しと温水取出しを機器内で切り替えられるような冷凍サイクルとした。温水取出し時の温水あるいは冷水取出し時の放熱用水における出口温度は25～55℃、温水取出し時の熱源水あるいは冷水取出し時の冷水における出口温度は5～25℃とした。

4 機器概要

熱回収CAONSの外観を図1に示す。

4.1 冷媒

熱交換器で冷媒から水へ移動する熱量は、熱交換器前後における冷媒のエンタルピー差が関わってくる。エンタルピーは、その状態で冷媒が持つエネルギーを表している。

家庭用ヒートポンプ給湯機のように、水を一過式で大きく昇温させる場合には、その加熱能力領域や使用温度帯によっては、冷凍サイクルを構成する機器が小型化でき、冷媒自体の効率が優れているCO₂が冷媒に採用されている。熱源機のように水を循環式で使用する場合には、CO₂よりもエンタルピー差が大きく熱交換量を大きくでき、オゾン層破壊係数がゼロのHFC（ハイドロフルオロカーボン）冷媒が用いられている。

今回開発した熱回収CAONSの場合、水を循環式で昇温させることを想定しているためHFC冷媒を採用した。更に、最高温水取出し温度を85℃としているため、HFC冷媒の中でも冷凍サイクルの高圧が高くなりすぎない特性を持つR134aを採用した。

4.2 コンプレッサ

世界最大クラス容量のインバータ駆動ツインロータリコンプレッサを搭載し、設置面積当たりの能力向上と出口水温の安定性を両立した。ロータリコンプレッサは、低圧室と高圧室を

仕切るために、ブレードに背圧を作用させ、ローリングピストン外周とシリンダ溝の側面にブレードを押し付ける構造となっている。ブレード先端とローリングピストンとの接触面が厳しい摺動（しゅうどう）部になっているため、小容量運転から大容量運転まで幅広い負荷に対応した信頼性確保が必要であり、ブレードの材質にはステンレスを採用し表面を窒化処理した。

4.3 筐体

構成部品は板金製の筐体（きょうたい）内に配置されている。筐体は、現場据付け後の操作やメンテナンス作業を正面及び背面からだけで可能にし、側面のメンテナンススペースが不要なモジュール構造とした。多くの場合、隣の機器との離隔距離が500mm程度必要であるが、このモジュール構造により他のモジュールと側面を隣接させた連結設置を可能にし、設置面積の縮小につなげた。また、既存の機械室やボイラ室などに熱回収CAONSが設置される場合、エレベーターや扉を通過するケースもあることを考慮し、大型の搬入機器の使用を回避することと搬入経路の自由度を増すために、筐体サイズは7人乗りのエレベーターに収まる大きさとした。

4.4 冷凍サイクル

熱回収CAONSでは、4.2節で述べたコンプレッサを2台用いて二つの冷凍サイクルを構成した。

冷凍サイクルは、コンプレッサ、温水を昇温する凝縮器、膨張装置、及び熱源水から熱を回収する蒸発器で構成される。熱回収CAONSで目標仕様としている加熱能力を得るためには、コンプレッサを2台用いる必要がある。この場合、2台を並列又は直列に接続して一つの冷凍サイクルにする方法と、それぞれ独立した二つの冷凍サイクルにする方法がある。

一つの冷凍サイクルにした場合のメリットは、中程度以下の能力時に凝縮器及び蒸発器の熱交換面積をより有効に使用でき、性能向上につながることであり、デメリットは、それぞれの熱交換器内で冷媒の分流や冷凍機油の流れが不安定になりやすく、コンプレッサの信頼性低下につながることであり、また、二つのコンプレッサに均等に冷凍機油を配分する必要があり、補機や制御を追加する必要が生じる。

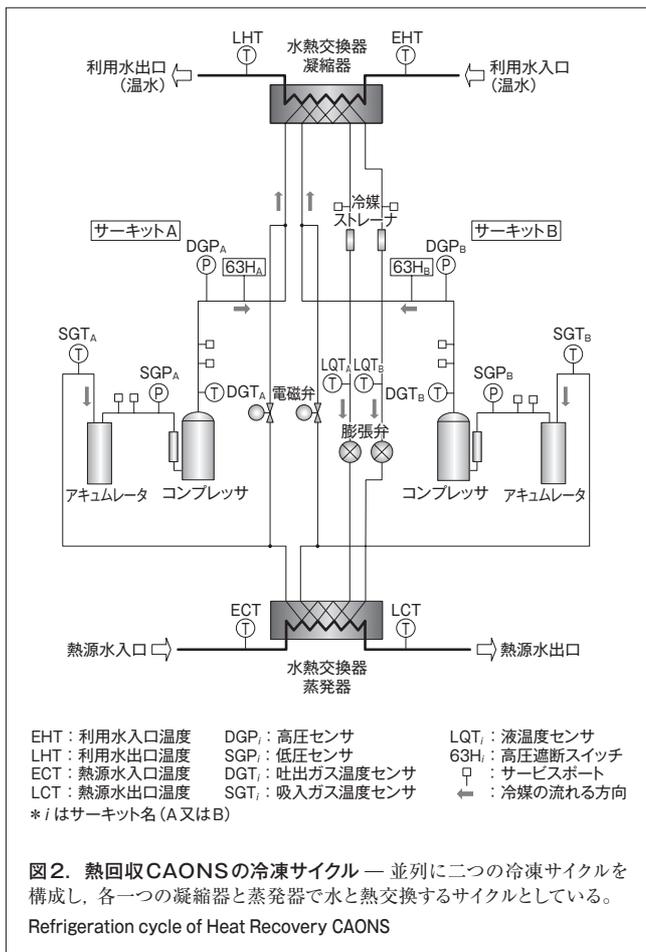
一方、二つの冷凍サイクルにした場合のメリットは、それぞれが独立しているため片方の冷凍サイクルで異常が発生しても他方が運転を継続できることや、個々の構成部品が小さくなりコスト低減につながることであり、デメリットは、二つの凝縮器及び蒸発器を水配管で接続する必要があるため、コストが増加し筐体サイズが大きくなってしまふことである。

熱回収を行い、温水を取り出す機器の使われ方は、負荷によらず常時高容量で運転を継続し続けることが特徴であり、熱回収CAONSの冷凍サイクルはリスク分散のため二つの冷凍サイクルを採用した。更に、凝縮器と蒸発器には二つの冷凍サイクルにより一つの水回路と熱交換するプレート式熱交換器を採用した。これにより、課題であった二つの冷凍サイクルを接



図1. 熱回収CAONS — 側面のメンテナンススペースが不要なモジュール構造で、遮音性や不慮の接触防止などを考慮して冷凍サイクルや電装品を筐体内に納めている。

Heat Recovery CAONS module



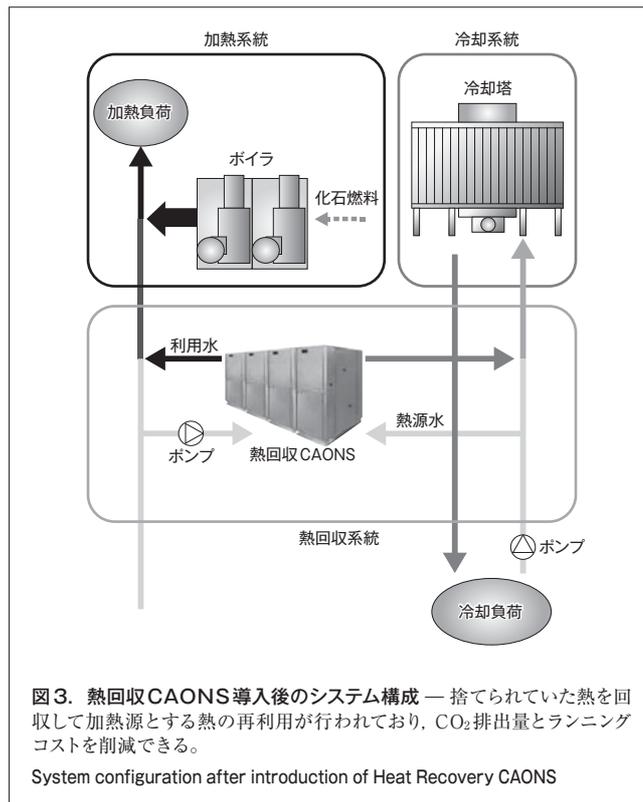
統する水配管が不要になり、コスト削減とともにスペースを36%低減できた。熱回収CAONSの冷凍サイクルを図2に示す。

冷凍サイクルの構成部品は、既に当社で製品化している空冷ヒートポンプ式熱源機“ユニバーサルスマートX (USX)”や空気熱源式循環加熱ヒートポンプ“CAONS700”に採用している実績があり、信頼性も高い。また、それらの設計コンセプトを部分的に流用することで、熱回収CAONSの開発リソースの削減と短期開発を可能にした。

熱回収CAONSでは、水温コントロールを温水出口から熱源水出口に切り替えることで冷却用として使用することも可能である。一般に冷水を機器の冷却などに利用する場合は、放熱は直接あるいは冷却塔などを利用して大気に廃棄している。熱回収CAONSでは、放熱水を高温で取り出せるためボイラへの給水の1次加温などに使用でき、省エネに貢献できる。

5 導入効果

導入効果を検証するために、機械の発熱を冷却水と冷却塔を用いて大気に放熱している冷却システムと、燃料を用いてボイラで生成した蒸気を利用して加熱対象を加熱する加熱システムとが存在するシステムに、熱回収CAONSを導入した。熱回収



CAONSの熱源水には機械排熱用の冷却水を用い、温水は加熱対象を加熱することで蒸気の使用量を削減するように設計したシステムとした。熱回収CAONSを導入したシステムの構成を図3に示す。

インシヤルコストは、導入するシステムによって変動する。熱回収CAONSの設置場所と熱源との距離や、配管経路と負荷との距離、配管経路、温水温度条件などに応じた配管材質や電源設備などが主な変動要因であり、それぞれの現場によって異なる。インシヤルコストを低減するためには、負荷のなるべく近傍に熱回収CAONSを設置して高温用配管を短くすることなど、導入を検討するにあたり注意が必要な点もある。

ランニングコストを削減するには、機器の運転効率が高い条件で運用することが望ましい。運転効率がより高くなる条件は、温水出口温度が低く、かつ熱源水の温度が高い条件である。ただし、加熱対象の温度を目的温度まで昇温するためにボイラなどで生成した蒸気の使用量が増えてしまうことや、熱源水を高く保つことで他の機器の運転効率が低下してしまうなどの悪影響も考えられる。そのため、システム全体で高効率となるような検討及び調整が必要になる。

熱回収CAONSを実際に導入したシステムでは、ボイラで加熱していた従来のシステムに対してCO₂排出量を48%削減でき、更にランニングコストを52%削減できており、非常に大きな効果が得られている。

6 熱回収SFMC

熱回収CAONSは、加熱又は冷却専用で、かつ温水取出し温度が50～85℃と幅広く高温まで取り出せる機器として開発した。

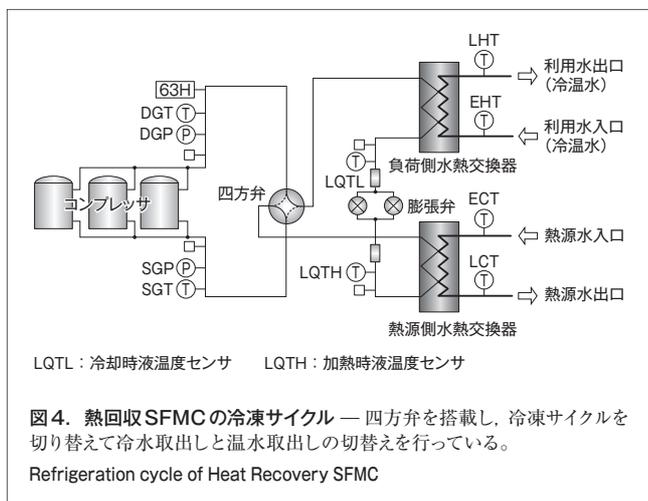
更に当社は、熱回収CAONSと同じように低温の水から熱を回収して温水を取り出せ、冷媒の流れを切り替える四方弁を備えることで低温の水に排熱しながら冷水を取り出すことも可能な熱回収SFMCも開発した。熱回収SFMCは、温水又は放熱水の取出し温度は25～55℃と熱回収CAONSに比べて低温だが、能力が大きく、運転効率を示す総合COP（成績係数）が高い。

熱回収SFMCは、主に空調用途に使用されることを想定している。空調用途では季節によって負荷側に必要な温度が異なり、夏季には冷水が、冬季には温水が必要である。既に当社をはじめ各社は空冷ヒートポンプで空調用途に使用できる機器を開発し製品化しているが、これらは、冬季に温水を取り出す際に大気から吸熱するため、空気熱交換器に霜や氷が付着して性能が低下してしまう。そこで、これを回復するために除霜運転が必要になり、加熱能力の低下や水温を安定的に供給できないなどの問題点があった。

これに対し、熱回収SFMCは加熱運転時には地下水などから吸熱するため空気熱交換器がなく、性能低下することがない。また、除霜運転が不要なため、水温も安定的に供給できる。

一方、冷水取出し時には、地下水や地中に放熱することになるが、この場合、一般的な冷却塔を用いて大気に放熱する場合よりも放熱水の温度を低くでき、運転効率が向上する。

熱回収SFMCは、負荷側に接続された水熱交換器から必要な冷水又は温水を取り出す。他方、熱源側の水熱交換器には地下水や、地中熱、下水などを接続することで、冬季など負荷側に温水が必要なときにはそれらから熱を回収し、夏季など冷水が必要なときにはそれらに放熱できる。



冷凍サイクル内に搭載した四方弁を切り替えることで蒸発器と凝縮器を切り替え、冷水又は温水を取り出すことを可能にした。冷凍サイクル内で切り替えるため、水配管を切り替えるコントロールやバルブ自体が不要になり、設置スペースの削減やコストの削減につなげた。熱回収SFMCの冷凍サイクルを図4に示す。

7 あとがき

既存や新設のシステムに関わらず、熱エネルギーの有効利用につながる機器である熱回収CAONS及び熱回収SFMCを開発した。照明、空調、及び動力の省エネが進められている工場やオフィスビルなどに導入することで、更なる省エネ効果が期待できる。今後は、これらの機器を市場に浸透させていくことが課題であり、空調機や熱源機を一括でコントロールできる機器の開発が必要であると考えられる。



松下 馨 MATSUSHITA Kaoru

東芝キャリア(株) 掛川開発センター 熱源設計部主務。
熱源機ハードウェアの設計・開発に従事。
Toshiba Carrier Corp.



森田 健 MORITA Takeru

東芝キャリア(株) 掛川開発センター 熱源設計部。
熱源機制御器の設計・開発に従事。
Toshiba Carrier Corp.



松本 雄紀 MATSUMOTO Yuki

東芝キャリア(株) 国内事業本部 システム技術部。
熱源機やパッケージエアコンの応用システム及び応用製品の企画・立案業務に従事。
Toshiba Carrier Corp.